

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 12.04.02. «Оптотехника»

Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние света на люминесценцию растений

УДК 535.37:581.1:628.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Цай МинШэн		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Корепанов В.И.	д.ф-м.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Жаворонок А.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Романова С.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
«Оптотехника»	Полисадова Е.Ф.	д.ф-м.н		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Способность формулировать цели, задачи научного исследования или разработки в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность выделять и обосновывать критерии, на основании которых формируются модели принятия решений, составлять план работ, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи
Р2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов
Р3	Способность к профессиональной оценке проблем проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы
Р4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности
Р5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.
Р6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники,

	нести ответственность за принятые решения
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений
P10	Способностью к координации и организации работы научно- производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов
P11	Способность к оценке современного состояния развития науки и техники, владение иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P12	Способность к сбору сведений, анализу и систематизации знаний об исследуемом объекте

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки (специальность) 12.04.02 «Опtotехника» (Светотехника)

Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Полисалова Е.Ф.

(Подпись) (Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ72	Цай МинШэн

Тема работы:

Влияние света на люминесценцию растений

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект исследования: Зеленые листья растения диффенбахия компакта.

Исходные данные: отечественная и зарубежная литература по теме работы, динамика флуоресценции растений, методика измерений.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор на тему «Влияние света на люминесценцию растений» 2. Экспериментальные методики 3. Результаты измерения спектров люминесценции и кинетики люминесценции по РАМ технологии 4. Анализ результатов исследований 5. Написание и представление ВКР 6.
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Презентация</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Старший преподаватель - Жаворонок А.В. отделения социально-гуманитарных наук</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Старший преподаватель - Романова Светлана Владимировна отделения контроля и диагностики</p>
<p>Разделы, выполненные на иностранном языке</p>	<p>Старший преподаватель - Рыбушкина С.В. отделения иностранных языков</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Корепанов Владимир Иванович	д.ф.м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Цай МинШэн		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4BM72	Цай МинШэн

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Оптотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определены материально-технические, финансовые и информационные ресурсы, а также заработную плату исполнителей проекта
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам - 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Инициация проекта (Цель и результаты, определение концепции проекта, анализ рынка поставщиков и потенциальных потребителей), экспертная оценка эффективности, оценка рисков проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение организационной структуры, ограничения и допущения проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование управления научно-техническим проектом (иерархическая и организационная структура работ проекта, план проекта), формирование бюджета научного исследования, оценка рисков проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности интегральных показателей финансовой и ресурсоэффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Диаграмма Исикава
3. Иерархическая структура работ проекта
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Жаворонок А.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Цай МинШэн		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4BM72	Цай МинШэн

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Оптотехника

Тема ВКР:

Получение носителя на основе оксида алюминия и магнетита методом распылительной сушки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Научно-исследовательская работа была выполнена в лаборатории на отделении материаловедения, ТПУ. Рабочей зоной являлась лаборатория площадью 54м².</i></p> <p><i>Объект исследования - Физиологическое состояние растений;</i></p> <p><i>Оборудование для исследований - Флуорометр;</i></p> <p><i>Методы исследования - Спектры флуоресценции растений и кинетика индуцированной флуоресценции растений.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> — специальные(характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ</i> <i>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ</i> <i>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ</i> <i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред.01.04.2019)</i></p>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p><i>Анализ выявленных вредных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - Отклонение показателей микроклимата; - Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - повышенный уровень шума.
3. Экологическая безопасность:	<i>При выполнении работы влияние на</i>

	<i>атмосферу и гидросферу не происходит. Воздействие на литосферу – образование отходов при печати документов.</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>В аудиторном помещении, возможно, ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Цай МинШэн		

реферат

Ключевые слова: состояние растения, фотосинтез, флуоресценция хлорофилла.

Объект исследования - Зеленые листья растения диффенбахия компакта.

Цель работы — разработка люминесцентных методов контроля состояния растений и исследование влияния спектрального состава возбуждающего, в том числе актиничного, излучения на кинетику замедленной флуоресценции хлорофилла в модельных растениях.

В процессе исследования проводились сбор, обработка и анализ литературных данных о методиках исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции и о приборах, осуществляющих измерение этих характеристик, разработка схемы и методики их измерений на имеющемся оборудовании.

В результате исследования получены спектрально-кинетические характеристики растений, сделаны выводы о том, что состояние фотосинтеза растений может быть получено путем изучения флуоресценции растений.

Степень внедрения: результаты данной работы могут быть положены в основу созданию люминесцентной экспресс-методики оценки состояния роста и развития растений при использовании светодиодных систем облучения в теплицах.

Область применения: анализ состояния фотосинтеза растений по люминесценции растений.

Экономическая значимость работы обусловлена отсутствием на российском рынке дешевых и функциональных аналогов.

В будущем планируется разработка установки для изучения спектрально-кинетических характеристик люминесценции растений по разработанной методике.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

НАДФ — никотинамидадениндинуклеотидфосфата

АТФ — аденозинтрифосфата

ФСА — фотосинтетический аппарат

ФС1 и ФС2 — фотосистемы 1 и 2, соответственно

РЦ — реакционные центры

ФЛ — Флуоресценция хлорофилла

Оглавление

Введение.....	13
1. Обзор литературы.....	15
1.1. Фотосинтез	15
1.2. Хлорофилл и его роль в фотосинтезе	18
1.2.1. Строение	18
1.2.2. Хлорофилл и фотосинтез	20
1.2.3. Электронный транспорт	24
1.3. Фотолюминесценция хлорофилла	26
1.3.1. Синглет-синглетные переходы.....	27
1.3.2. Триплет-синглетные переходы [19]	29
1.4. Переменная флуоресценция хлорофилла	30
1.4.1 Индукционные кривые флуоресценции	30
1.4.2 Модулированная флуоресценция.....	33
1.4.3. Флуоресценция – индикатор состояния фотосинтезирующей системы	36
2. Методика измерения люминесценции	37
3. Экспериментальные результаты	39
3.1. Методика измерения переменной флуоресценции	39
3.2. Определение оптимальных условий и возможностей установки для изучения влияния света различного спектрального состава и потоков на первичные стадии фотосинтеза.	41
3.2.1. Спектры люминесценции листьев.....	41
3.2.2 Возможности установки для измерения индукционных кривых по традиционной стационарной технологии.....	44
3.2.3. Влияние актиничного излучения на кинетику замедленной флуоресценции листьев (постоянное возбуждение)	49
3.3. Динамика флуоресценции при модулированном возбуждении (РАМ технология)	53
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала научных исследований с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	56
4.1.1 Потенциальный потребитель результатов исследований	56
4.1.2 Анализ конкурентных технологических решений	57

4.1.3 SWOT-анализ	59
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	61
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	63
4.2. Инициация проекта	64
4.3. Планирование управления научно-техническим проектом	66
4.3.1. Иерархическая структура работ проекта	66
4.3.2 Планирование научно-исследовательских работ	67
4.3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	73
4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	77
4.4.1. Оценка абсолютной эффективности исследования	77
5. Социальная ответственность	86
Заключение	99
Литература	101
Приложение	106

Введение

Для выбора оптимального спектрального состава излучения светодиодных облучателей на разных стадиях роста и развития растений требуется оперативный метод контроля их состояния. Это можно сделать на основе информации о процессах, вызывающих и сопровождающих фотосинтез, который является комплексным показателем физиологического состояния растений. Такая информация позволит оперативно управлять процессом выращивания растений, предотвращать нарушения роста, например, из-за влияния факторов окружающей среды.

На ранней стадии роста определение состояния здоровья растений обычно проводится путем субъективного визуального осмотра или химического анализа. Визуальный осмотр не может обеспечить цифровое управление. Методы химического анализа громоздки и неэффективны, а также уничтожают живые растения.

В настоящее время основными неразрушающими методами определения скорости фотосинтеза являются методы определения скорости поглощения углекислого газа или скорости выделения кислорода. Это достаточно сложные и длительные методы.

Эффективным и оперативным способами оценки процессов фотосинтеза могут быть методы получения информации о начальных стадиях фотосинтеза. Эти стадии определяются процессами диссипации поглощенной молекулами хлорофилла энергии солнечной радиации. Поглощенные кванты в виде первичных электронных возбуждений могут мигрировать в клетке и, в конечном итоге, расходовать свою энергию на фотохимические процессы (фотосинтез и др.), на нагрев (в тепло) или люминесценцию при переходе хлорофилла в основное состояние.

Поэтому люминесценция может использоваться для получения информации о процессах фотосинтеза и, следовательно, для оперативного контроля процессов роста и развития растений.

Цель работы — разработка люминесцентных методов контроля состояния растений и исследование влияния спектрального состава возбуждающего, в том числе актиничного, излучения на кинетику замедленной флуоресценции хлорофилла в модельных растениях.

Задачи:

1. Разработать установку для измерения переменной люминесценции хлорофилла в листе растения.
2. Исследовать возможности установки и разработать методику (последовательность, режимы) измерений переменной флуоресценции в стационарном и РАМ режимах возбуждения.
3. Измерить переменную флуоресценцию листьев растения и определить основные параметры первичной стадии фотосинтеза

1. Обзор литературы

1.1. Фотосинтез

Фотосинтез - преобразование зелёными растениями и некоторыми бактериями энергии света в энергию химических связей органических веществ [1].

Фотосинтез является единственным способом для высших растений получать энергию из внешнего мира и основой для осуществления жизнедеятельности высших растений. Свет поглощается хлорофиллами а и б и другими пигментами (каротиноиды, фикобилины) в хлоропластах и хроматофорах клеток. Приведенный ниже анализ литературных источников сделан на основе монографий и обзорных статей, представленных в [1-14].

Хлоропласты (рис.1.1) используют свой хлорофилл для преобразования энергии света в химическую энергию, превращая CO_2 в воду и сахар. У высших растений хлоропласты представляют собой двояковыпуклые или плосковыпуклые линзы. Клетки мезофилла высших растений обычно содержат 50-200 хлоропластов, которые могут составлять 40% цитоплазмы. Хлоропласт содержит три разные мембраны: наружную мембрану, внутреннюю мембрану и тилакоидную мембрану. Он обычно содержит около 1000 тилакоидов внутри хлоропласта. Класс капсул имеет в среднем 200 цепей переноса электронов (СЕТ) и приблизительно 105 молекул пигмента. Пигментами в хлоропласте являются хлорофилл а, хлорофилл б и каротиноиды.

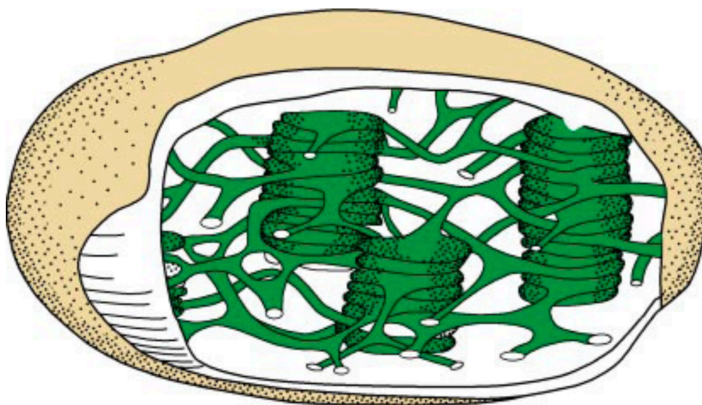


Рис.1. 1. Строение хлоропласта

Зелёным растениям, водорослям для синтеза органических веществ необходимы CO_2 и H_2O . Фотосинтез происходит в результате окислительно-

восстановительных реакций, в ходе которых электроны переносятся от донора-восстановителя (вода, водород и др.) к акцептору (CO_2 , ацетат-ион) с образованием углеводов и выделением кислорода (O_2).

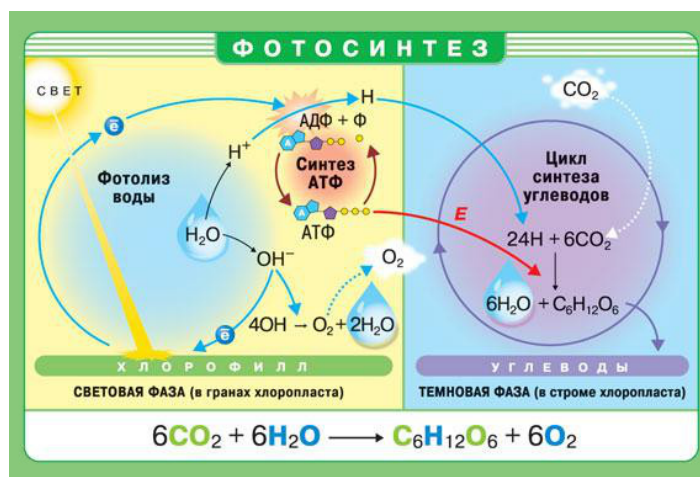
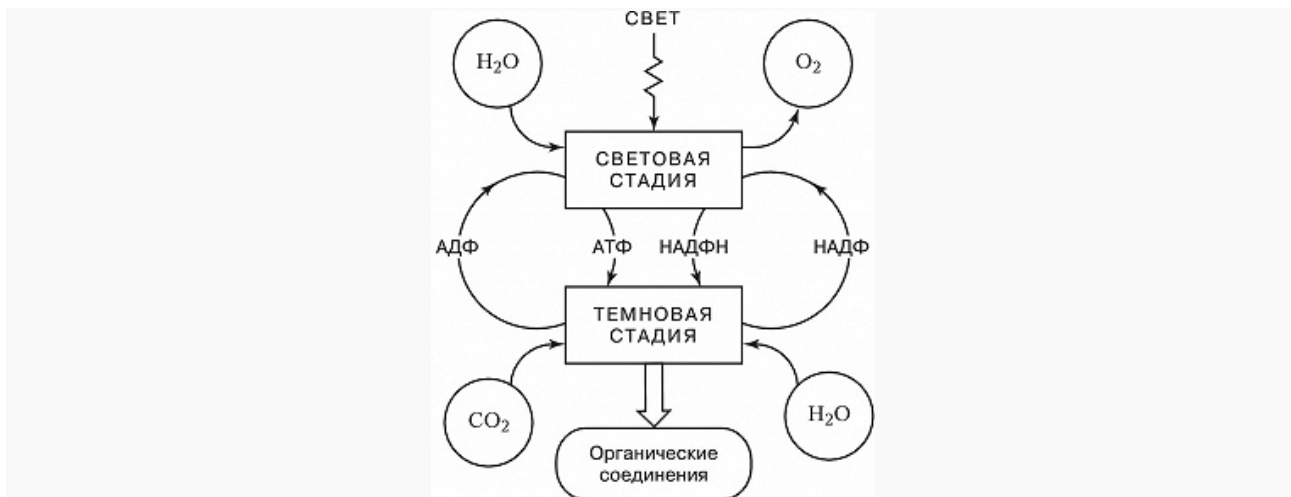
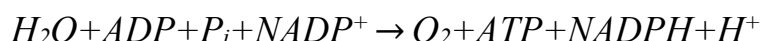


Рис. 1.2 – Упрощенные схемы и продукты световых и темновых реакций фотосинтеза

АДФ – аденозинтрифосфат; АТФ – аденозиндифосфат

Фотосинтез растений делят на две стадии – световую (фазу фотореакции) и темновую (рис. 1.2). Фаза фотореакции требует энергии света и реализуется в мембранах хлоропластов – тилакоидах (Рис. 1.1), в которые встроены молекулы пигментов и переносчиков электронов – пластохинона и пластоцианина. На первой (световой) стадии происходит распад молекулы воды (фотолиз) на водород и кислород и восстановление никотинамидадениндинуклеотидфосфата НАДФ^+ (NADP^+) до НАДФН (NADPH). Одновременно с этим благодаря фор-

мированию на мембранах тилакоидов электрохимического градиента протонов происходит образование из АДФ богатого энергией АТФ (фотофосфорилирование). То есть световая энергия преобразуется в химическую энергию и сохраняется в АТФ, которая затем участвует в химических реакциях во второй фазе фотосинтеза. Водород переносится также на матрицу в хлоропласте в качестве активного восстановителя, участвующего в химической реакции на второй стадии. Кислород O_2 выделяется в атмосферу. Фотореакции:



Темновые реакции протекают в строме хлоропластов. Они активируются светом и могут протекать также на свету. В этих реакциях для восстановления CO_2 , поступающего через межклетники листа в хлоропласты, используется энергия, запасённая в НАДФН и АТФ на световом этапе. Фиксация CO_2 и образование углеводов происходит в ходе последовательных ферментативных превращений по, так называемому, циклу Калвина.

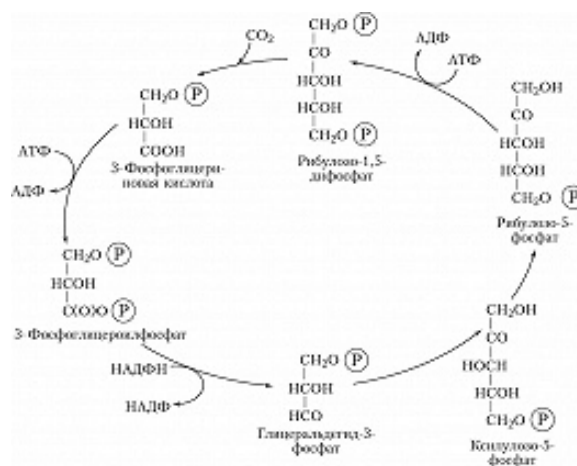
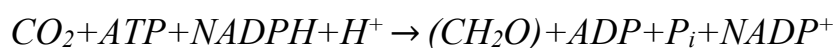


Рис. 1.3. Схема цикла Калвина; \textcircled{P} – остаток фосфорной кислоты.

По первой реакции цикла при участии фермента рибулосодифосфаткарбоксилазы молекула CO_2 присоединяется к молекулам рибулосодифосфата, которая содержат 5 атомов углерода (C_5). Из образовавшихся шестиуглеродных соединений получают молекулы 3-фосфоглицериновой кислоты (C_3). При помощи АТФ и НАДФН она восстанавливается до триозофосфатов, из которых в последующем образуется конечный продукт – глюкоза. Часть триозофосфа-

тов преобразуется в рибулозомонофосфат, который при участии АТФ фосфорилируется до рибулозодифосфата (первичного акцептора CO_2). Это обеспечивает непрерывную работу цикла [1-14]. Растения с промежуточным образованием трёхуглеродных соединений называются C_3 -растениями.

Темновые реакции:



В ряде растений (кукуруза, сахарный тростник) первоначальное превращение углерода идёт не через трёхуглеродные, а через четырёхуглеродные соединения. Это C_4 -растения. Акцептором CO_2 в клетках мезофилла в них является фосфоенолпируват. Продукты его карбоксилирования (яблочная или аспарагиновая кислоты) диффундируют в обкладочные клетки сосудистых пучков, где декарбоксилируются с освобождением CO_2 , который и поступает в цикл Калвина. Преимущества такого «кооперативного» метаболизма обусловлены тем, что фосфоенолпируваткарбоксилаза при низкой концентрации CO_2 более активна, чем рибулозодифосфаткарбоксилаза, и, кроме того, в обкладочных клетках с пониженной концентрацией O_2 слабее выражено окисление рибулозофосфата и сопутствующая ему потеря энергии (до 50%). Поэтому C_4 -растения характеризуются высокой фотосинтетической продуктивностью.

Таким образом, фотосинтез – основной процесс в растениях, который определяет характер и степень их роста и развития, а также является комплексным показателем физиологического состояния растений.

Для ряда культур оправдано выращивание при полном или частичном искусственном облучении. Поэтому актуальными становятся разработки теоретических основ и практических способов управления фотосинтезом, исследование закономерностей фотосинтеза его регулирования и адаптации к внешним условиям, в частности к качеству света.

1.2. Хлорофилл и его роль в фотосинтезе

1.2.1. Строение

Хлорофилл является наиболее важным пигментом, связанным с поглощением света при фотосинтезе. Известны четыре химических типа

Для фотосинтеза наиболее важное значение имеет хлорофилл а. Хорошо изучены два основных типа хлорофилла: хлорофилл а и хлорофилл б. Они нерастворимы в воде, но растворимы в органических растворителях, например, в спирте. Хлорофилл а - сине-зеленый, а хлорофилл б - желто-зеленый. Молекулярная формула хлорофилла а: $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$, Молекулярная формула хлорофилла б: $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$. Химические структуры:

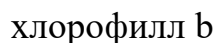
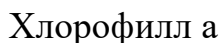


Рис.1.4 - Структурная формула хлорофиллов а и в

Основные элементы структуры хлорофилла:

циклическая 18-членная система сопряженных связей

фитол (у бактериохлорофиллов с и d - фарнезол)

Биосинтез хлорофилла:

- Синтез δ -Аминолевулиновой кислоты
- Образование первичной пиррольной структуры - порфобилиногена

- Формирование тетрапиррольного кольца - уропорфириногена III
- Образование копропорфиногена III
- Образование протопорфиногена IX
- Синтез протопорфирина IX
- Формирование Mg-протопорфирина IX
- Образование монометилового эфира Mg-протопорфирина IX
- Синтез протохлорофиллида
- Образование хлорофиллида
- Формирование хлорофилла *a*
- Синтез хлорофилла *b*.

1.2.2. Хлорофилл и фотосинтез

Первичным актом запасания энергии при фотосинтезе является поглощение света молекулами пигментов, которые переходят в возбужденное состояние. Энергия возбуждения переносится на реакционные центры (РЦ), осуществляющие первичные фотохимические реакции. Дальнейшее превращение энергии света в химическую энергию проходит ряд этапов, начиная с окислительно-восстановительных превращений хлорофилла, включая как фотохимические (световые), так и энзиматические (темновые) реакции.

В соответствии с электронным строением хлорофилла, показанным на рис. 1.8, молекула хлорофилла имеет (как и другие молекулы) основное синглетное состояние (S_0) и набор триплетных и синглетных возбужденных состояний. Наличие в спектре поглощения хлорофиллов двух главных полос поглощения (рис. 1.5), говорит о существовании двух наиболее вероятных для данной молекулы синглетных-синглетных поглощательных переходов: высокоэнергетичный ($S_0 - S^*_2$) соответствующий полосе поглощения в синей области (640-660 нм) и низкоэнергетический ($S_0 - S^*_1$) соответствующий полосе поглощения в красной области спектра (430-450 нм).

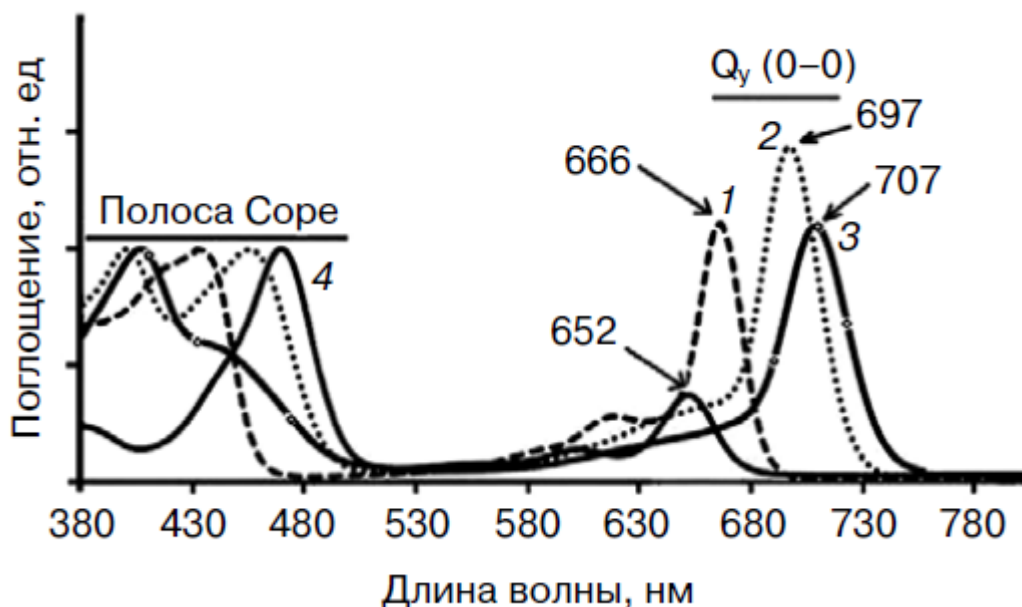


Рис. 1.5 - Спектры поглощения хлорофиллов: Chl *a* (1), Chl *d* (2), Chl *f* (3), Chl *b* (4) в метаноле и обозначение основных полос Core и Q_y (0–0). Спектры нормализованы к максимуму в области Core [14]

Функции хлорофиллов:

Входят в состав светособирающих антенн и осуществляют поглощение световой энергии,

Участвуют в миграции энергии от молекул свето-сборщиков (в основном хлорофилл а) к молекуле-ловушке - реакционному центру (РЦ)

Работают в РЦ, т.е. запускают фотохимическую реакцию в РЦ (хлорофилл а).

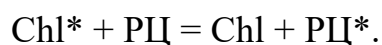
Основные функции хлорофилла — поглощение и передача энергии. В живых растениях (*in situ*) первоначально свет поглощается пигментами, входящими в крупные пигмент-белковые комплексы: светособирающий комплекс (ССК) и комплексы фотосистем 2 и 1 (ФС-2, ФС-1).

Основная функция ССК – "светосбор" и передача поглощенной энергии на комплексы ФС-2 и ФС-1. Они по сути являются антеннами, которые поглощают свет и переносят энергию в РЦ. Более 90% всего хлорофилла хлоропластов входит в состав ССК. Кроме хлорофилла ССК содержат каротиноиды и фикобилины. Последние увеличивают эффективность усвоения света за счет того, что поглощают свет в областях спектра, в которых молекулы хлорофилла поглощают слабо и передают его хлорофиллу а. [1-14].

ФС2 и ФС1 обладают функцией светосбора (за счет пигментов в антенной части комплекса), а также содержат реакционные центры Р680 и Р700, соответственно. Они различаются по составу белков, пигментов и оптическим свойствам. Светособирающая антенна ФС1 поглощает свет с длиной волны $\lambda = 700 - 730\text{ нм}$, а ФС2 – свет с $\lambda < 680 - 700\text{ нм}$. Окисление реакционных центров ФС1 и ФС2 сопровождается изменениями их спектров поглощения при $\lambda \approx 700$ и 680 нм . В соответствии с этим РЦ ФС1 и ФС2 получили название Р700 и Р680.

Реакционный центр Р представляет собой особую пару (димер) молекул хлорофилла и выполняет роль ловушки энергии возбуждений, мигрирующей по матрице пигментов светособирающей антенны. Реакционный центр поглощает энергию возбуждений и осуществляют первичный акт разделения заряда, который является начальным этапом трансформации световой энергии в энергию химических связей первичных продуктов фотосинтеза, инициирует цепь дальнейших превращений энергии света при фотосинтезе.

Таким образом поглощенная пигментами световая энергия в виде электронного возбуждения мигрирует по пигментной матрице, захватывается РЦ и передает ему эту энергию



Время переноса энергии от одной молекулы хлорофилла к другой составляет $10^{-12} — 10^{-12}\text{ с}$, а от молекулы каротиноидов к хлорофиллу $4 \times 10^{-10}\text{ с}$. Такой перенос может осуществляться только при близком расстоянии между молекулами пигментов. Расчеты показали, что в одном хлоропласте до 1 млрд молекул хлорофилла. Расстояние между молекулами хлорофилла в мембранах составляет всего 1 нм. Следовательно, время переноса энергии значительно меньше времени жизни возбужденной молекулы (10^{-8} с). Общее время миграции возбуждения к реакционному центру обычно не превышает $10^{-10} - 10^{-9}\text{ с}$.

Передача энергии между молекулами пигментов может происходить либо по резонансному, либо по экситонному механизмам, без разделения зарядов.

В случае резонансного механизма наиболее эффективна передача от молекул с более высокоэнергетичным поглощательным электронным

состоянием к молекулам, обладающим меньшей энергией поглощательного уровня (состояния). То есть, перенос энергии происходит только от пигментов, поглощающих свет с меньшей длиной волны, к пигментам, поглощающим свет с большей длиной волны. При этом часть запасенной на первой молекуле энергии после ее возбуждения теряется. Поэтому основные формы хлорофилла, к которым стекается энергия, являются более длинноволновыми. Обратный перенос энергии невозможен. Примером могут служить процессы передачи энергии от хлорофилла *b* к хлорофиллу *a* (90%), от каротиноидов к хлорофиллу (40%).

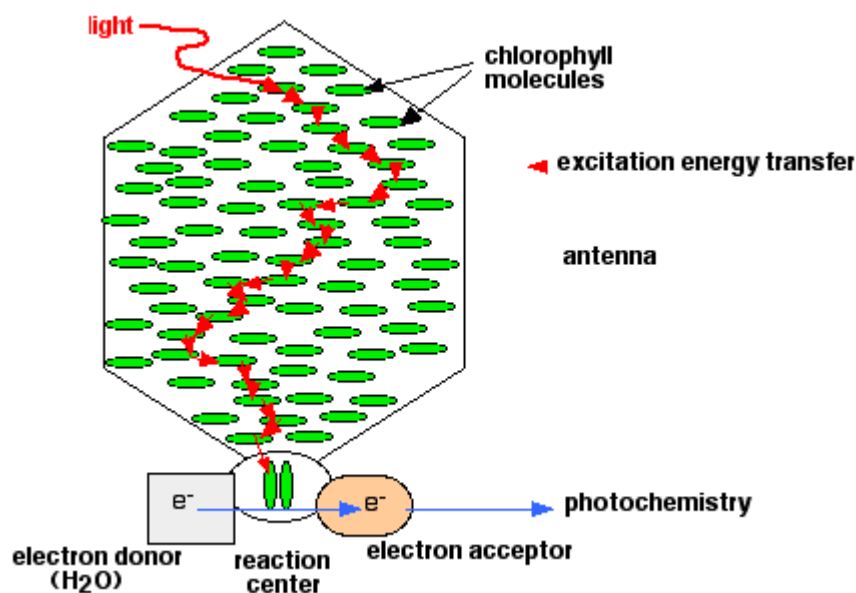


Рис. 1.6 - Схема миграции энергии по ССК к реакционному центру

В том случае, если молекулы пигментов имеют одинаковый максимум поглощения возможен другой путь передачи энергии - экситонный.

Высокая скорость фотохимических реакций при малом числе реакционных центров (1—3 % от общего числа хлорофилла *a*) обеспечивается системой своеобразной "фокусировки" (внутри- и межкомплексная миграция энергии), за счет которой диффузионный поглощенный свет концентрируется в реакционные центры ФС2 и ФС1. Строго направленный поток энергии от пигментов-сборщиков в реакционные центры осуществляется за счет реализации общего принципа: передача энергии идет от коротковолновых форм

пигментов к длинноволновым (в пределах комплекса) и от комплексов с коротковолновыми к комплексам с длинноволновыми формами пигментов, то есть с понижением энергии.

Наряду с димерами хлорофилла, которые являются донорами электронов в фотосинтетический комплекс входят молекулы первичного и вторичного акцепторов электрона. Возбужденный реакционный центр РЦ* отдает электрон расположенному рядом первичному акцептору электрона за $\tau \approx 10^{-12}$. Таким образом начинается второй этап преобразования солнечной энергии при фотосинтезе – разделение зарядов в РЦ. Стабилизация разделенных зарядов обеспечивается вторичными процессами электронного транспорта, следующих за переносом электрона от РЦ* к акцептору. В дальнейшем, получив электрон от молекулы донора РЦ возвращается в исходное восстановленное состояние и становится готов к повторному приему электронного возбуждения и отдаче электрона находящемуся рядом с ним окисленному первичному акцептору.

1.2.3. Электронный транспорт

Важнейшей особенностью работы фотосинтетического аппарата является высокая эффективность преобразования энергии солнечного света, умение фотосинтетических систем адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды и защищать себя от различных неблагоприятных воздействий. Регуляция фотосинтеза работает по принципу обратной связи. При этом важнейшую роль играют процессы электрон-транспорта.

Основными энергопреобразующими элементами являются фотосистемы 1 и 2, представляющие собой сложные мультиферментные комплексы. Причина происхождения двух фотосистем заключается в том, что энергии одного кванта видимого света недостаточно для того, чтобы обеспечить разложение воды и эффективное прохождение электроном всего пути по цепи молекул-переносчиков от воды к NADP⁺.

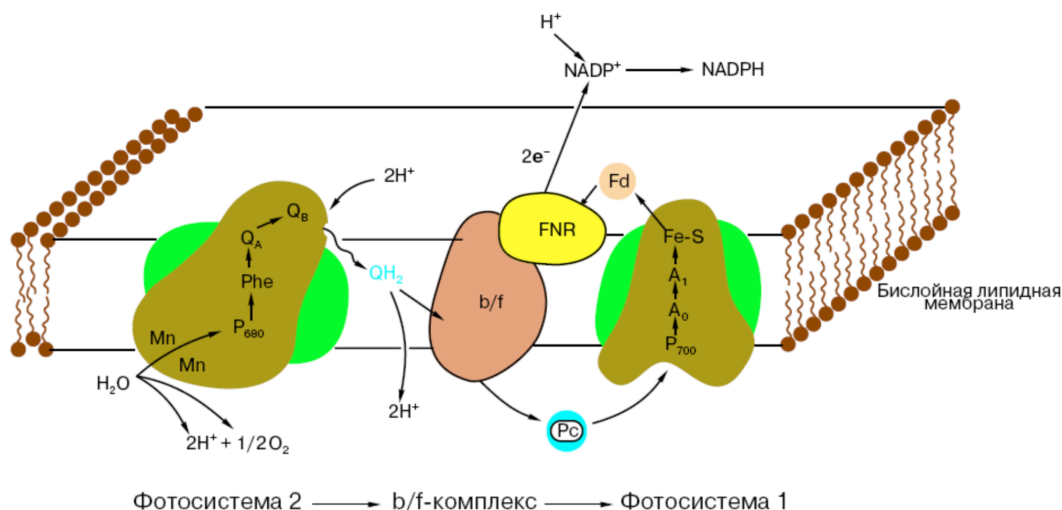


Рис. 1.7 - Фотосинтетический аппарат и электротранспорт электронов [5,6]

Две фотосистемы связаны между собой посредством цепи электронных переносчиков. ФС2 является источником электронов для ФС1. На рис.1.7. показаны белковые комплексы и подвижные переносчики, которые формируют электрон-транспортную цепь. Она включает в себя молекулы пластохинона, электрон-транспортный белковый комплекс (b/f-комплекс) и водорастворимый белок пластоцианин Р.

В ФС2 от возбужденного центра электрон переносится сначала на первичный акцептор феофитин (Phe), а затем на молекулу пластохинона Q_A , прочно связанную с одним из белков ФС2 и далее по цепи. Иницируемое светом разделение зарядов в фотореакционных центрах P700 и P680 обеспечивает линейный перенос электрона от воды, разлагаемой в ФС2, к конечному акцептору электрона – молекуле $NADP^+$ ($НАДФ^+$), обеспечивая образование сильного восстановителя NADPH.

Возможен также «циклический» перенос электрона с акцепторной части ФС1 обратно на пул хинонов $Q \leftrightarrow QH_2$. И линейный, и циклический пути сопряжены с переносом внутрь тилакоида протонов, используемых АТФ-синтазой для синтеза АТФ.

Процессы передачи энергии между комплексами является, по-видимому, одним из основных лимитирующих и, следовательно, активно регулируемым звеном в общей системе регуляции фотосинтеза. Поэтому особое внимание

уделяется межкомплексному взаимодействию. Эффективность межпигментной и межкомплексной передачи энергии зависит от природы пигментов, структурной организации фотосинтетического аппарата, условий среды.

1.3. Фотолюминесценция хлорофилла

Поглощенная светособирающим комплексом и антеннами ФС2 и ФС1 световая энергия распределяется по трем основным каналам: *температурная дезактивация, флуоресценция и фотохимические реакции*. Ясно, что это связано с дезактивацией возбужденного состояния хлорофилла (см. рис.1.8).

Пути дезактивации электронно-возбужденного состояния хлорофилла можно описать следующей схемой:

- Внутримолекулярные безизлучательные процессы – внутренняя конверсия и колебательная релаксация
- Флуоресценция
- Фосфоресценция
- Миграция энергии или межмолекулярный перенос энергии от одной молекулы пигмента к другой
- Фотохимическая реакция

Анализ совокупности результатов исследования люминесценции хлорофилла сделан в великолепных обзорах [1-21].

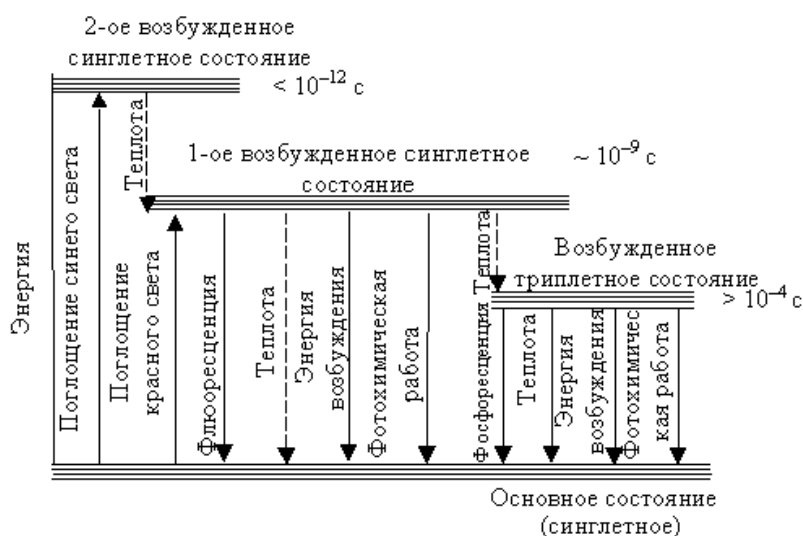


Рис.1.8 - Электронные переходы в молекуле хлорофилла

Основным источником испускания флуоресценции являются возбужденные молекулы хлорофилла а в ФС2. Как видно из рисунка, внутримолекулярная люминесценция хлорофилла возникает в результате синглет-синглетных ($S_1 - S_0$) и триплет-синглетных ($T_1 - S_0$) переходов, которые вызывают флуоресценцию (быстрая) и фосфоресценцию (медленная). Спектры люминесценции молекул хлорофилла в растворах при возбуждении красным светом $\lambda > 620$ нм при температуре окружающей среды 77 К, соответствующие этим двум типам переходов приведены на рис. 1.9.

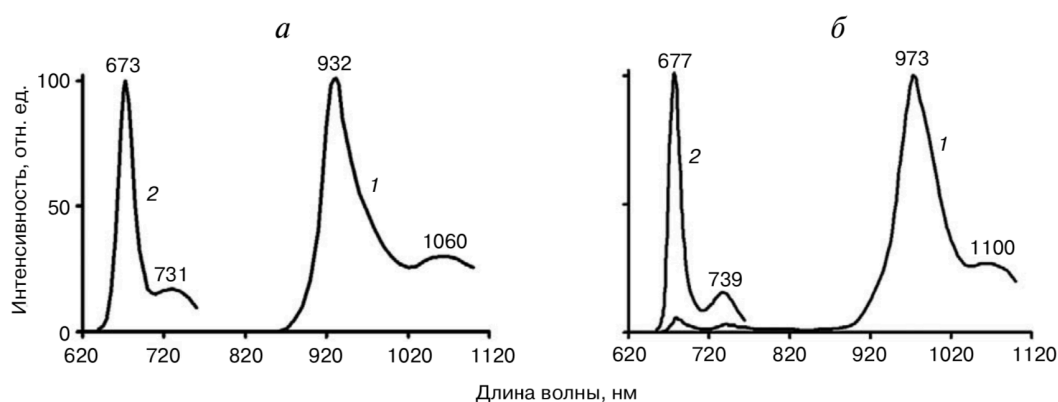


Рис.1.9 - Спектры фосфоресценции (1) и флуоресценции (2) растворов хлорофилла а (3–5 мкМ) при 77 К. а – в водных мицеллярных растворах детергента Triton X-100; б – в пиридине [19].

1.3.1. Синглет-синглетные переходы

Установлено, что положение максимумов полос излучения зависит от окружения молекулы, то есть от того где она находится, в каком типе раствора или в листе какого-то типа растения. Поэтому максимумы полос синглетной люминесценции могут находиться в пределах от 680 нм до 685 нм и от 730 нм до 740 нм.

Существует несколько точек зрения на механизм возникновения люминесценции в

области 680 и 730 нм. Считается, что флуоресценция в красной области происходит от хлорофилла, связанного с фотосистемой 2, а флуоресценция в далекой красной области происходит от антенной хлорофилла фотосистемы II и фотосистемы I. Вклад ФС1 в сигнал флуоресценции при комнатной

температуре $< 20\%$. При этом соотношение максимумов в спектре флуоресценции определяется степенью агрегированности форм хлорофилла и реабсорбцией излучения (так как возбуждение полосы 740 нм происходит в области 685 нм, на которую приходится максимум первой полосы люминесценции хлорофилла ФС2).

Для количественного определения соотношения полос может быть использован параметр ω , равный отношению интенсивностей флуоресценции при 730-750 нм и 685 нм, $\omega = F_{740}/F_{685}$. Как оказалось, этот параметр зависит от многих факторов, определяющих рост и развитие растений: минерального питания, концентрации CO_2 , облученности и длительности светового дня, влажности и др. Предполагается, что оптимальным условиям развития растений соответствуют максимальные значения ω . В ряде работ была экспериментально зарегистрированы однозначная связь этого показателя с содержанием хлорофилла в листьях растений [21, 29, 30]. Отношение флуоресценции 685 нм / 740 нм может быть использовано также для различения растений.

Интерпретация полос, связанных с фотосистемой ФС2 (PSII), значительно изменилась за последние 10 лет. На рис. 5 приведен пример спектра тилакоидных мембран *Arum italicum*, измеренного при 77 К и разложенного на элементарные полосы. Видно, что полосы 730-750 нм и 685 нм не элементарны.

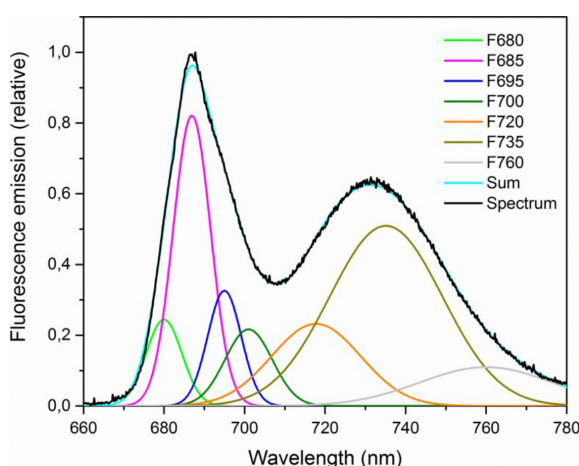


Рис. 1,10 - Спектр тилакоидных мембранах *Arum italicum* при 77 К [30]

Полоса спектра ФС2 состоит из четырех компонентов: (1) F695, происходящий из неповрежденного белка CP47; (2) две полосы излучения от

дестабилизированного CP47, дающие пики при 691 нм (FT1, что соответствует изолированному CP47 и при 685 нм (FT2); (3) излучение в области 686–687 нм, происходящее от пигментов реакционного центра ФС2.

Квантовый выход флуоресценции (отношение числа испущенных квантов к числу поглощённых) можно определить, как:

$$qF = \frac{k_F}{k_F + k_P + k_D + k_T}$$

k_F – константа скорости флуоресценции;

k_P – константа фотохимической реакции;

k_D – константа тепловой дезактивации;

k_T – константа переноса энергии возбуждения к нефлуоресцирующим пигментам.

Квантовый выход флуоресценции хлорофилла *a* не высок и в листе составляет около 2-8%. Среднее время жизни около 300 пс (для “открытых” РЦ) и около 1,6 нс (для “закрытых” РЦ). [5].

1.3.2. Триплет-синглетные переходы [19]

Эти переходы изучены еще не в полной мере. Основные сведения о них приведены в работе [19]:

Табл. 3.1 – Параметры люминесценции хлорофилла *a* в различных формах сольватации и агрегации

Пигмент	Состояние пигмента	λ_{ex} , нм	λ_{ph} , нм	τ_{ph} , мс
Хлорофилл <i>a</i>	Mg-0 (Mg-H ₂ O?), мономер	~658	920–925	~5
	Mg-L мономер	660–663	925–939	2,6–2,7
	Mg-L ₂ мономер	672–676	970–985	1,8–2,0
	Димеры, олигомеры	670–705	960–990	0,8–1,5

Табл. 3.2 – Параметры люминесценции хлорофилла а

Объекты	φ_{ph} , отн. ед. ($\pm 15\%$)	τ_{ph} , мс	φ_f , отн. ед. ($\pm 10\%$)	φ_{ph}/τ_{ph} , отн. ед.	$\varphi_{ph}/(\tau_{ph}\varphi_f)$, отн. ед.
Пиридин	1,0*	2,0	1,0*	1,0	1,0
Диэтиловый эфир	1,2*	2,7	0,9	0,9	1,0
Мицеллы Triton X-100	1,1	2,7	0,8	0,8	1,0
Этанол	0,3	1,8	0,6	0,3	0,5
Зеленеющие листья после 1 ч зеленения	0,4	1,9	0,7	0,4	0,6

1.4. Переменная флуоресценция хлорофилла

1.4.1 Индукционные кривые флуоресценции

Наиболее часто в эксперименте регистрируются индукционные кривые флуоресценции, источником которой являются возбужденные молекулы хлорофилла ФС2.

В 1931 году Каутский обнаружил связь первичных процессов фотосинтеза с флуоресценцией хлорофилла. Он установил, что после адаптации живых листьев зеленого растения, и последующего внезапного воздействия света, зеленая ткань растения излучает темно-красный свет, интенсивность которого изменяется со временем. Кривая, нарисованная этим флуоресцентным сигналом, называется кинетической кривой индукции флуоресценции зеленого листа.

Вид классической кривой индукции флуоресценции растений приведен на рис. 1.11. Кинетическую кривую, регистрируемую после включения освещения, разделяют на две фазы:

быструю – возрастание интенсивности флуоресценции от первоначального уровня F_0 до максимального P за время около одной секунды,

медленную – уменьшение интенсивности флуоресценции до стационарного состояния за времена около десятков секунд.

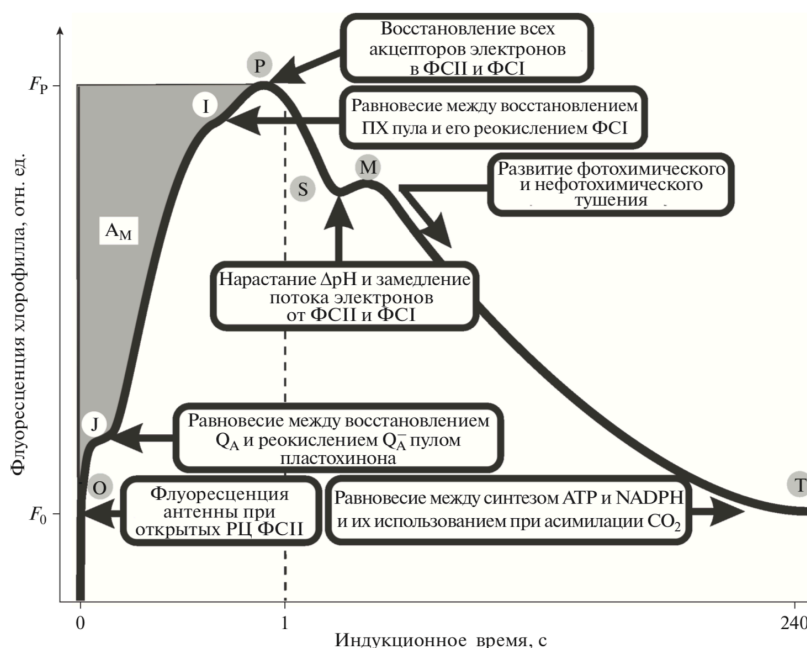


Рис.1.11 - Индукционная кривая флуоресценции хлорофилла и процессы, определяющие изменение интенсивности флуоресценции.

Когда листья облучаются очень слабым возбуждающим светом, интенсивность флуоресценции возрастает до F_0 . Эта часть флуоресценции определяется только количеством молекул хлорофилла в листе и не зависит от реакции фотосинтеза. Флуоресценция выше F_0 называется переменной флуоресценцией. При воздействии интенсивного света флуоресценции возрастает от F_0 до максимального значения F_P и затем постепенно затухает до уровня F_T , близкого к F_0 . Основная задача состоит в том, что можно сказать о состоянии фотосинтетического аппарата растительной клетки, изучая кинетическую кривую индукции флуоресценции.

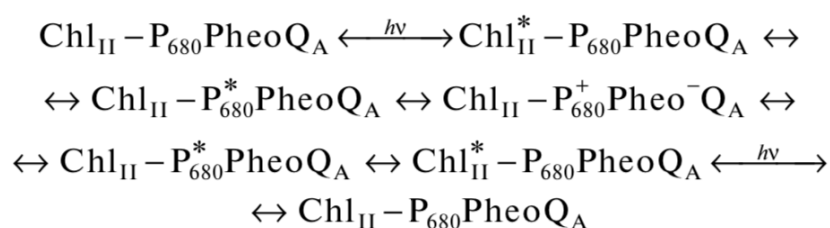
Кривая индукции имеет сложный вид, который определяется процессами электротранспорта зарядов в фотосинтетическом аппарате растения. При быстром измерении флуоресценции, индуцированной светом, кинетическая кривая индукции флуоресценции показывает несколько особых точек. Каждый этап на кривой связан с определенным процессом фотосинтеза. Основные процессы на разных стадиях кривой индукции показаны на рисунке.

Таким образом путем измерения кинетической кривой, индуцированной флуоресценцией, можно получить информацию об изменениях процессов фотосинтеза.

Модель кинетики флуоресценции:

Реакционные центры ФС2 могут находиться в двух чередующихся состояниях - «открытом» и «закрытом». Если реакционный центр находится в открытом состоянии, то поглощенная энергия фотона используется для фотосинтеза, а интенсивность флуоресценции снижается. Если реакционный центр находится в закрытом состоянии (когда рецептор Q_A полностью окисляется в ФС2), то люминесценция возрастает. Исследования показали, что, когда реакционный центр полностью закрыт, выход флуоресценции примерно в 5 раз выше, чем флуоресценция, когда реакционный центр полностью открыт.

Схема процессов в ФС2 и реакционном центре (РЦ), приводящих к излучению переменной флуоресценции:



Существует два метода измерения переменной флуоресценции [28 - 30].

1.4.1. Прямой метод.

Измерение люминесценции хлорофилла производится после адаптации растения в темноте (20–30 мин) импульсом возбуждения прямоугольной формы с коротким фронтом (желательно микросекундным), длительностью несколько минут и длиной волны короче 670 нм. По характеру кривой индукции флуоресценции можно судить о некоторых характеристиках фотосинтетического аппарата образца и динамике протекания реакций фотосинтеза [28 - 30].

По этой методике определяются:

F₀ - начальная (нулевая) флуоресценция;

F_М - максимальная флуоресценция;

$F_V = F_M - F_0$ переменная флуоресценция;

F_V/F_M - максимальная квантовая эффективность ФС II;

t_{FM} - время для достижения F_M ;

P_I - индекс производительности фотосинтетического аппарата;

A_M - площадь поверхности над индукционной кривой флуоресценции хлорофилла

Типичная кривая измеренная таким способом переменная люминесценция показана на рис.1.12.

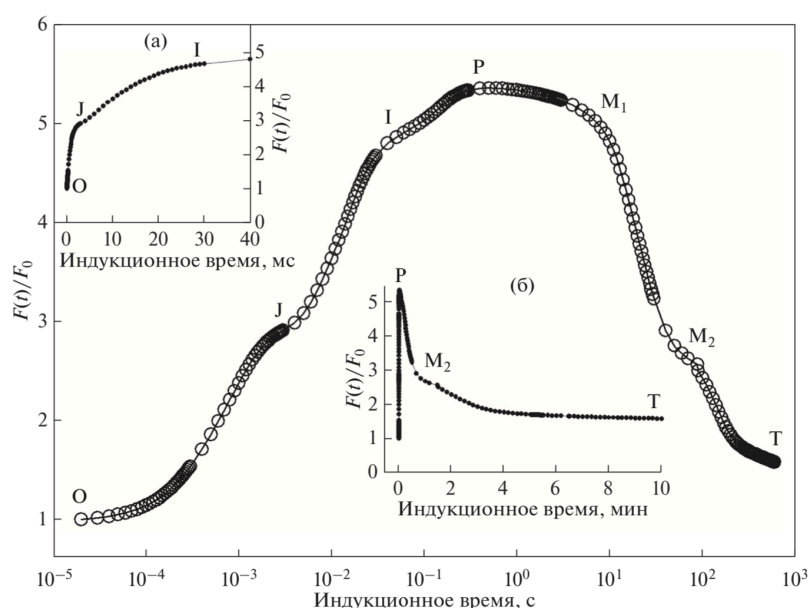


Рис. 1.12 - Индукционные кривые переменной флуоресценции в адаптированных к темноте (30 мин) листьях фасоли, представленные в различных шкалах времени [28-31].

Таким образом, измерение разных параметров флуоресценции хлорофилла дает возможность получать информацию о состоянии фотосинтетического аппарата объекта.

1.4.2 Модулированная флуоресценция

Другой способ получения информации о первичных процессах фотосинтеза - применение технологии амплитудно-импульсной модуляции (Pulse Amplitude Modulation - PAM). Флуориметр на основе такой технологии определяет относительный выход флуоресценции (F_t) путем модуляции амплитуды измеряемого света в диапазоне микросекундных импульсов и может

обнаруживать индуцированную флуоресценцию в условиях рассеянного света, так как измерительная система РАМ-флуориметра селективно регистрирует выход флуоресценции на частоте следования микросекундных импульсов.

Такой метод реализован в процессе настоящей работы и описан в разделе «Экспериментальные результаты».

Типичная кривая замедленной флуоресценции, измеренной РАМ методом показана на рис.1.13.

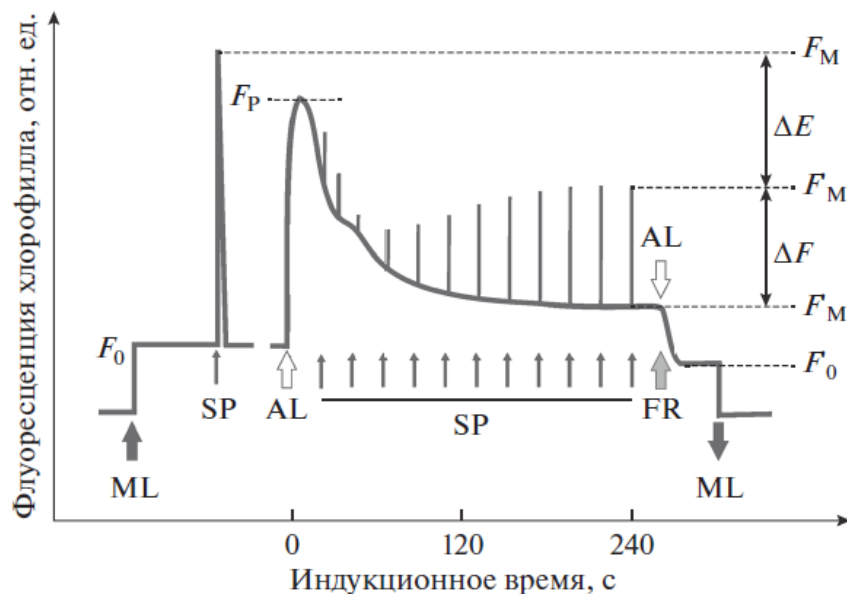


Рис. 1.13 - Схематическое представление типичного эксперимента по модулированной флуоресценции и определению фотосинтетической эффективности.

ML – модулированный измеряющий свет; SP – насыщающий импульс; AL – действующий свет; FR – ближний инфракрасный свет (дальний красный); F_p – максимальная флуоресценция хлорофилла *a* при возбуждении действующим светом; F_0 – минимальная флуоресценция хлорофилла *a* в адаптированных к темноте объектах; F_0^1 – минимальная флуоресценция хлорофилла *a* в адаптированных к свету объектах; F_m – максимальная флуоресценция хлорофилла *a* в адаптированных к темноте объектах; F_m^1 – максимальная флуоресценция хлорофилла *a* в адаптированных к свету объектах; F_T – стационарный уровень флуоресценции хлорофилла *a* в адаптированных к свету объектах; $\Delta E = F_m - F_m^1$; $\Delta F = F_m^1 - F_T$.

Использование РАМ флуориметров позволяет проводить быструю оценку эффективности преобразования энергии фотонов ФАР в химическую энергию в процессе фотосинтеза исследуемых объектов и определение ряда важных параметров:

F_0' - начальная (нулевая) флуоресценция, измеренная в адаптированном к свету объекте;

F_M' - максимальная флуоресценция;

$F_v' / F_M' = (F_M' - F_0') / F_M'$ - максимальная квантовая эффективность первичной фотохимической реакции в адаптированном к свету объекте;

$\Phi_{\text{ФС II}} = (F_M' - F_T') / F_M'$ - действительный квантовый выход фотохимических реакций в ФС II на свету;

$q^P = (F_M' - F_T') / (F_M' - F_0')$ - фотохимическое тушение;

$q^N = (F_M - F_M') / (F_M - F_0)$ - нефотохимическое тушение;

$\text{ETR} = \Phi_{\text{ФС II}} \times 0.50 \times \text{PPFDa} = 0.84 \times 0.50 \times \text{PPFDa}$ - скорость линейного переноса электронов (здесь PPFDa означает скорость поглощения света образцом выраженная в $\mu\text{моль/м}^2\text{с}$)

Способы возбуждения при реализации обоих методов изучения переменной флуоресценции и их результаты видны из схемы на рис.1.14.

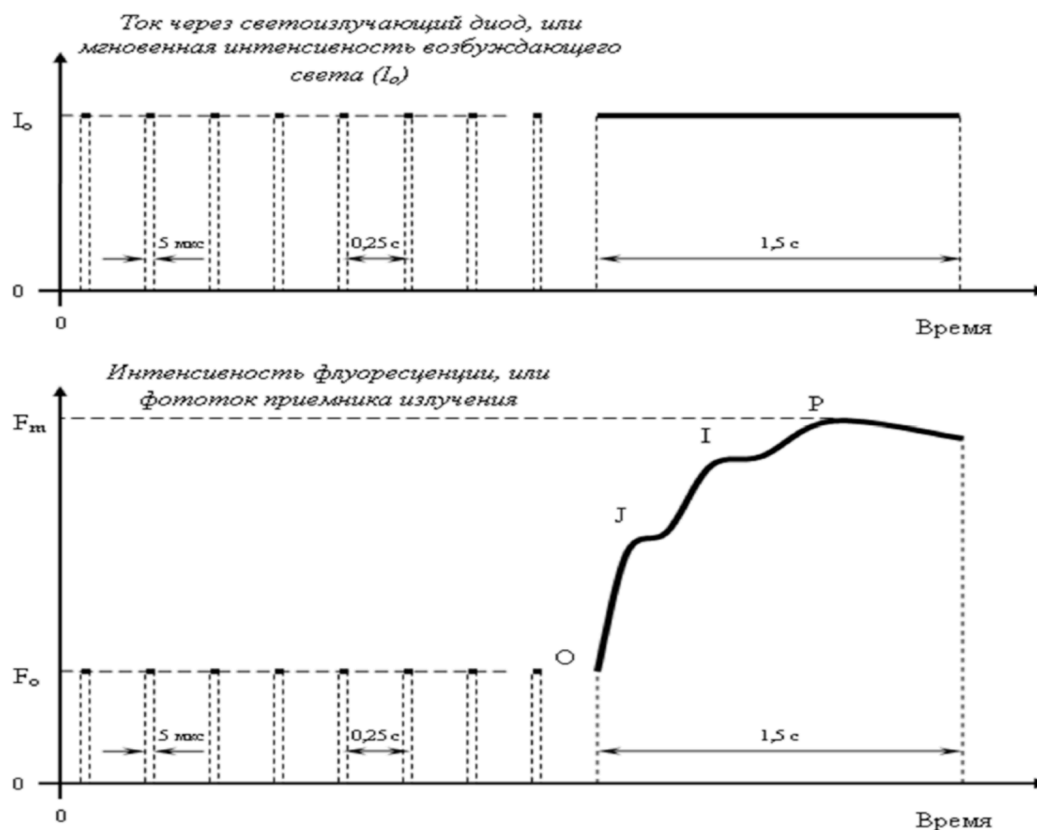


Рис.1.14 - Два метода измерения переменной люминесценции

1.4.3. Флуоресценция – индикатор состояния фотосинтезирующей системы

Основным источником испускания флуоресценции являются возбужденные молекулы хлорофилла ФС2. Однако интенсивность свечения зависит от всей совокупности процессов, происходящих в фотосинтетической мембране. Как было показано выше реакционные центры могут быть пустыми или занятыми. При открытом состоянии РЦ эффективность использования энергии возбуждения хлорофилла в фотосинтезе высока, вероятность потери энергии минимальна, квантовый выход флуоресценции $\eta = \frac{kf}{kf+kd+kP}$ минимален и составляет около 2%. При закрытых РЦ фотохимическое разделение зарядов становится невозможным, квантовый выход флуоресценции возрастает до $\frac{kf}{kf+kd}$, что соответствует значению интенсивности F_m , и составляет около 5%.

Таким образом, при миграции электронных возбуждений по электрон-транспортной цепи количество люминесцирующих центров изменяется при освещении растений. Поэтому наиболее информативной для понимания состояния растения является именно переменная люминесценция хлорофилла. Индуцированное изменение флуоресценции связано с изменениями состояния первичного акцептора электронов ФС2 (Q_A). Ее источником является обратная рекомбинация первичного заряда в реакционном центре ФС2, где определенное количество света испускается хлорофилловой антенной, но с некоторой задержкой из-за существования значительного и изменяющегося во времени жизни процесса рекомбинации пары зарядов. Это свечение может наблюдаться в течение нескольких минут после прекращения воздействия.

Следовательно, регистрируя кинетическую кривую изменения интенсивности флуоресценции во времени при различных условиях, можно получать информацию о процессах, происходящих на разных стадиях преобразования энергии в фотосинтетическом аппарате растения, а флуоресценция может быть основным показателем фотосинтетической активности. Из кривых индукции растения мы можем определить различные параметры флуоресценции. На основе этих параметров можно рассчитать максимальный квантовый выход фотохимической реакции ФС2, который отражает эффективность фотосинтеза и другие параметры, характеризующие фотосинтетический процесс. Наличие изменяющейся во времени люминесценции – особенность люминесценции растений.

2. Методика измерения люминесценции

Мы использовали флуоресцентный спектрофотометр Cary Eclipse для разработки установки для измерения спектров флуоресценции растений и кинетики флуоресценции растений (рис. 2.1). Cary Eclipse - флуоресцентный спектрофотометр с оптической системой Шварцшильда с кварцевым покрытием. Cary Eclipse представляет собой управляемый компьютером с операционными системами WINDOWS XP и 2000. С помощью этого прибора

могут быть измерены: флуоресценция, фосфоресценция, химическая и биолюминесценция, а также фосфоресценции с временным разрешением.



Рис. 2.1 - Установка на основе Cary Eclipse для измерения спектров и кинетики флуоресценции растений

Спектрометр состоит из источника излучения, монохроматоров возбуждения и регистрации флуоресценции, кюветного отделения, и блока электроники. В качестве источника излучения используется импульсная ксеноновая лампа с длительностью импульса 2 мкс, с эквивалентной мощностью до 75 кВт и частотой следования световых импульсов 80 Гц. Время задержки и время селекции могут варьироваться при работе в режиме измерения фосфоресценции. При работе в режимах хемилюминесценции и биолюминесценции источник отключается.

В приборе использованы монохроматоры с оптической схемой Черни-Тернера с фокусным расстоянием 12,5 см., фиксированные селективные щели с полосами пропускания от 1,5 до 20 нм и полностью рефракционная система сбора с оптикой с кварцевым покрытием. В качестве приемника излучения применен ФЭУ R928. Система измерений основана на технологии амплитудной модуляции, что обеспечивает невосприимчивость к свету в помещении. Измерения могут производиться в диапазоне длин волн 190–900 нм со скоростью

сканирования 0,01–24000 нм / мин и максимальной скоростью измерений - 80 точек данных / с.

Монохроматоры возбуждения и излучения оснащены фильтрами для нескольких диапазонов длин волн, которые могут быть выбраны оператором или автоматически вызваны программным обеспечением. Диапазон длин волн пропускания фильтров:

250-395 нм 250-395 нм

335-620 нм 295-1100 нм

550-1100нм 360-1100нм

695-1100 нм 430-1100 нм

550-1100nm;

Стандартное напряжение: 220 В / 50 Гц

Стандартное энергопотребление: 390 Вт

Для измерения потоков излучения в энергетических и фотонных единицах использовался спектрофотометр ТКА «Спектр» (ФАР).

3. Экспериментальные результаты

3.1. Методика измерения переменной флюоресценции

Для изучения спектров и кинетики люминесценции была разработана методика на основе спектрофлюориметра Cary Eclipse. В приборе реализован способ измерения люминесценции на основе РАМ технологии. Эта технология является наиболее приемлемой для изучения фотолюминесценции растений в условиях воздействия внешнего (актиничного) света, вызывающего фотосинтез.

Для полного приспособления флюориметра к решению поставленных задач были изготовлены тракты возбуждения листа растения актиничным и насыщающим светом (схемы показаны на рис. 3.1).

Источником насыщающего света служит галогенная лампа мощностью 65 Вт. Актиничный свет формируется четырьмя светодиодами мощность 2 Вт каждый. Излучение от источников транспортируется в зону облучения

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Проект, который мы изучали, заключался в анализе состояния фотосинтеза растений и физиологического состояния растений с использованием индуцированной флуоресцентной спектроскопии. В этой статье мы проведем исследование рынка этого проекта, чтобы оценить рыночный спрос и ценность этого проекта. Мы разработаем план проекта для управления и планирования проекта. Затем мы планируем время, затраты, персонал и средства, необходимые в проекте, чтобы полностью оценить весь план проекта.

4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала научных исследований с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальный потребитель результатов исследований

Чтобы проанализировать рыночный спрос потребителей, мы классифицируем рынки, которые нужны потребителям. Наш проект заключается в изучении фотосинтеза и физиологического состояния растений. Этот проект имеет отношение к растениям, поэтому наш целевой рынок - сельскохозяйственный сектор, особенно сельскохозяйственные фермы всех размеров. Мы классифицируем рынок по размеру компании и типу сайта (Таблица 4.1, открытое пространство).

Таблица 4.1 - Карта сегментации рынка развития услуг Ресурсы фермы

Размер компании	Тип посадок		
	Открытые поля	Тепличные хозяйства	Фитотроны
Крупные	Фирма А	Фирма В	
Средние	Фирма Б	Фирма Г	
Мелкие		Фирма Д	Фирма Е

Мы опросили эти компании и получили следующую информацию:

- 1) Фирма А и Фирма В используют флуорометр ПАМ-2500
- 2) Фирма Г и Фирма Д используют флуорометр WALZ MINI-PAM-II
- 3) Фирма Б и Фирма Е не приобрели флуорометр

Фирма Б и Фирма Е считают, что флуорометры на существующем рынке слишком дороги и превышают их бюджет покупки. Им нужен флуорометр, который имеет низкую цену, прост в использовании и прост в эксплуатации. Разработанные нами флуорометры отвечают их потребностям, потому что разработанные нами флуорометры просты по конструкции, просты в эксплуатации и недороги. Но единственным недостатком является то, что он имеет единственную функцию, но эти функции могут удовлетворить потребности небольших ферм и являются дешевыми, поэтому мы разрабатываем флуорометры для рыночного спроса для небольших ферм и средних ферм. Более того, мы обнаружили, что для тепличных хозяйств они имеют более высокий спрос на флуорометры, потому что им необходимо понимать состояние фотосинтеза растений и физиологическое состояние растений, чтобы регулировать лампы в теплице, чтобы растения могли получить лучшие условия для роста.

Из рисунка получаем следующие выводы:

- Основную часть рынка составляют мелкие и средние сельскохозяйственные компании;
- Наиболее перспективной частью является предоставление методов контроля для небольших компаний;
- Рынок, который является привлекательным для будущих компаний, это предложение о методе контроля средних компаний.

4.1.2 Анализ конкурентных технологических решений

Чтобы оценить рынок, необходимо провести конкретный анализ рыночной конкуренции. Мы можем использовать оценочную карту для анализа конкурентной информации о рынке. Для этого мы выбрали основные конкурентоспособные продукты на рынке.

К1 - флуориметр WALZ MINI-PAM-II,

К2 - флуориметр PAM-2500.

Таблица 4.2 - Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	4	5	4	0.4	0.5	0.4
2. Удобство в эксплуатации	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
3. Портативность	0.08	1	5	4	0.08	0.4	0.32
4. Надежность	0.06	5	3	3	0.24	0.18	0.18
5. Безопасность	0.04	4	4	4	0.16	0.16	0.16
6. Потребность в ресурсах памяти	0.05	5	2	3	0.25	0.1	0.2
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.05	3	5	4	0.15	0.25	0.2
8. Простота эксплуатации	0.09	4	4	3	0.36	0.36	0.27
9. Качество интеллектуального интерфейса	0.04	2	4	5	0.08	0.16	0.2
10. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.05	5	4	5	0.25	0.2	0.25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.04	4	5	5	0.12	0.2	0.2
2. Уровень проникновения на рынок	0.2	1	5	3	0.02	0.1	0.06
3. Цена	0.1	5	1	2	0.5	0.1	0.2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	5	4	5	0.5	0.5	0.5
5. Финансирование научной разработки	0.08	1	4	4	0.08	0.32	0.32
Итого	1				3.79	3.73	3.81

Здесь B_i - балл i -го показателя, присуждаемая разработка по каждому критерию (от 1 до 5)

K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента. Конкурентоспособность рассчитывается по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

Где B_i - вес показателя.

Из оценочной карты мы можем получить следующую важную информацию. Наше оборудование конкурентоспособно на рынке из-за его низкой цены, четкой работы и высокой производительности. Хотя это не самое

лучшее, это очень дорого для малых и средних хозяйств. И может решить свои производственные проблемы руководства. Поэтому наша продукция конкурентоспособна на рынке.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Данный вид анализа применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов: Первый этап состоит в описании сильных и слабых сторон разработки и выявлении ее возможностей и угроз. Эти параметры заносятся в матрицу SWOT-анализа. Второй этап состоит в выявлении сильных и слабых сторон разработки при помощи интерактивных матриц, представленных в таблице 4.1.3.1 ниже. Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT-анализа, приведенной в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Интерактивные матрицы проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	-	0	-
	B2	+	-	0	-
	B3	-	-	-	-
Угрозы проекта		-	-	+	-
		-	-	+	-
		-	-	-	-
		-	-	-	-

Продолжение таблицы 4.3

Слабые стороны проекта							
Возможности проекта		Сл1	Сл1	Сл1	Сл1	Сл1	Сл1
	B1	-	-	-	-	-	+
	B2	-	-	-	-	-	-
	B3	-	-	+	-	-	-
Угрозы проекта	У1	-	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-	-

	У3	-	+	-	-	-	-
	У4	+	-	-	-	-	-

Таблица 4.4 - итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Более низкая стоимость производства стенда.</p> <p>С2. Возможность экспресс-исследований.</p> <p>С3. Более широкий спектр применения.</p> <p>С4. Бесконтактный метод.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Технология является тестовым стендом.</p> <p>Сл2. Отсутствие целевого финансирования.</p> <p>Сл3. Необходима высокая квалификация у оператора.</p> <p>Сл4. Необходима ручная обработка результатов измерений.</p> <p>Сл5. Непостоянная структура стенда.</p> <p>Сл6. Недостаточная интеллектуальная защита стенда.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Отсутствие патентов на узлы и решения данного стенда.</p> <p>В2. Отсутствие производства подобных приборов в России.</p> <p>В3. Глубокое знание методики.</p>	<p>В1С1: Отсутствие патентов на узлы и решения позволит снизить стоимость производства стенда</p> <p>В2С3: Отсутствие производства таких приборов в России позволит найти им широкое применение</p>	<p>В1Сл6: Отсутствие патентов позволит уменьшить недостаточную интеллектуальную защиту путем подготовки патентов</p> <p>В3Сл3: Глубокое знание методики компенсирует необходимость использование высокой квалификации оператора</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Уширение спектра применения конкурентных товаров.</p> <p>У3. Отсутствие юридически оформленного заказчика.</p> <p>У4. Отсутствие планов на создание прибора на основе стенда.</p>	<p>У1С3: Отсутствие спроса затрудняет выявление областей применения</p> <p>У2С3: Уширение спектра применения конкурирующих товаров также тормозит расширение областей применения</p>	<p>У1У3Сл2: Отсутствие спроса и заказчика усиливает недофинансирование проекта</p> <p>У4Сл1: Отсутствие планов по разработке готового устройства, а не макета, затянет разработку тестового стенда из-за отсутствия четких требований</p>

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4

11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	40

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i ,$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 40 до 50, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования выше среднего, поэтому не все аспекты рассмотрены и изучены. Таким образом, для организации предприятия этого недостаточно (пункт 4 – 8 не подходят). Но так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации для следующих методов (пункты 1 - 3): Торговля патентной лицензией; передача ноу-хау и инжиниринг. Сначала в лаборатории, используя метод люминесценции растений и индуцированной флуоресценции для изучения кинетики на основе хлоропластов, разработал новый процесс изготовления флуорометров и применил соответствующие патенты на технологии, а затем представил новый флуорометр для компании по производству флуорометров. С введением флуорометров они достигли соглашений о передаче технологий, производят новые флуорометры и способствуют коммерциализации результатов исследований.

4.2. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта магистерской работы имеет следующую структуру:

1. Цели и результат проекта. В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В таблице 4.6 приведена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 4.6 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Исполнитель (магистрант) и научный руководитель	Освоение метода регистрации хлорофилльной кинетики флуоресценции для оценки физиологического состояния растений
Университет (ТПУ), выпускающая кафедра (кафедра лазерной и световой техники)	Готовая магистерская диссертация
Производитель флуорометра	Способ получения хлорофилловой кинетики флуоресценции для оценки физиологического состояния растений
Пользователь	Используйте энергосберегающие, недорогие флуорометры

В таблице 4.7 мы предоставим информацию о целевой иерархии проекта и достижении целевых критериев.

Таблица 4.7 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	разработка люминесцентных методов контроля состояния растений и исследование влияния спектрального состава возбуждающего, в том числе актиничного, излучения на кинетику замедленной флуоресценции хлорофилла в модельных растениях.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработать методику измерения переменной люминесценции хлорофилла в листе растения Исследовать влияние спектрального состава актиничного излучения (аналогичного в изготовленной теплице) на параметры переменной люминесценции.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Разработанный флуорометр способен эффективно и удобно измерять физиологическое состояние растений.

Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (таблица 4.8)

Таблица 4.8 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Корепанов В.И., доцент кафедры ИШНПТ	Руководитель проекта	Предоставление заданий; консультации; помощь при проведении экспериментальных исследований; обсуждение результатов.
2	Цай МинШэн, магистр кафедры ИШНПТ	Исполнитель по проекту	Проведение экспериментов, обработка результатов, написание пояснительной записки ВКР

Ограничения и допущения проекта. Ограничения проекта приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Сроки проекта:	
3.1.1. Дата утверждения плана управления проектом	05.01.19
3.1.2. Дата завершения проекта	05.05.19
3.3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное количество образцов для исследования

4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1. Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. № и рис. № представлены шаблон иерархической структуры работ по проекты и пример ИСР по проекту разработки программного продукта.



4.3.2 Планирование научно-исследовательских работ

В рамках планирования исследовательского проекта нам необходимо установить календарь проекта и график работы в Интернете.

В этом разделе (Таблица 4.10) перечислены этапы и рабочие списки для данного исполнителя для каждого типа работ в рамках исследования.

Таблица 4.10 - Календарный план проекта

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Дата начала работ	Дата окончания работ
1	Выбор направления исследований	Руководитель	05.01.19	09.01.19
2	Составление задания на ВКР	Руководитель	10.01.19	13.01.19
3	Согласование задания с исполнителем	Руководитель магистрант	14.01.19	19.01.19
4	Уточнение физических основ люминесценции хлорофилла	магистрант	20.01.19	10.02.19
5	Уточнение информативности получаемых при спектральном анализе данных	магистрант	11.02.19	16.02.19
6	Анализ конкурентных решений	магистрант	17.02.19	25.02.19
7	Проведение расчетов и выбор методики измерений	магистрант	26.02.19	03.03.19
8	Разрабатываем схему флуорометра	магистрант	04.03.19	24.03.19
9	Изготовление флуорометра	магистрант	25.03.19	09.04.19
10	Оценка эффективности полученных результатов	магистрант	10.04.19	15.04.19
11	Представление результатов для отчета по НИР	магистрант	16.04.19	20.04.19
12	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	магистрант	21.04.19	28.04.19
13	Составление рекомендаций к следующей фазе	Руководитель магистрант	29.04.19	05.05.19

	исследований			
И т о г о:			05.01.19	05.05.19

Мы используем диаграмму Ганта для иллюстрации прогресса проекта, как показано на таблице 4.11 График строится в виде таблицы 4.11 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.11 - Календарный план-график проведения НИ

Код работы	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ													
				январь			февраль			март			апрель			май	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Выбор направления исследований	Руководитель	5	■													
2	Составление задания на ВКР	Руководитель	4		■												
3	Согласование задания с исполнителем	Руководитель магистрант	6		■	■											
4	Уточнение физических основ люминесценции хлорофилла	магистрант	22			■	■	■	■								
5	Уточнение информативности получаемых при спектральном анализе данных	магистрант	6					■	■								
6	Анализ конкурентных решений	магистрант	9						■	■							
7	Проведение расчетов и выбор методики измерений	магистрант	6							■	■						
8	Разрабатываем схему флуорометра	магистрант	21							■	■	■					
9	Изготовление флуорометра	магистрант	16									■	■	■			
10	Оценка эффективности полученных результатов	магистрант	6											■	■		
11	Представление результатов для отчета по НИР	магистрант	5												■	■	
12	Анализ результатов отчета, формулировка выводов	магистрант	8												■	■	■
13	Составление рекомендаций к следующей фазе исследований	магистрант	7													■	■

Прямой проход по сети

Раннее начало каждой работы можно определить, двигаясь по графику слева направо. Всякая первая работа может начаться в момент $t=0$. В точке «схождения» нескольких работ отражается самое позднее завершение всех работ, предшествующих данной точке. Тогда раннее начало последующей работы определяется максимальной из сумм раннего начала предшествующей работы и продолжительности этой же работы:

$$t_{\text{рн}}(j) = \max[t_{\text{рн}}(i) + T(i)],$$

где $t_{\text{рн}}(j)$ – раннее начало последующей работы;

$t_{\text{рн}}(i)$ – раннее начало предшествующей работы;

$T(i)$ – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях.

Раннее окончание работы рассчитывается по формуле

$$t_{\text{по}}(i) = t_{\text{рн}}(i) + T(i),$$

Критический путь – максимальное время выполнения работ по всей теме в целом:

$$T_{\text{кр}} = T[L_{\text{max}}(1, \text{зав.})],$$

где $L_{\text{max}}(1, \text{зав.})$ – максимальный путь от первой работы до завершающей.

Следует учесть, что раннее начало завершающей работы сети принимают равным ее позднему началу:

$$t_{\text{рн}}(\text{зав.}) = t_{\text{пн}}(\text{зав.}),$$

а раннее окончание завершающей работы сети принимают равным ее позднему окончанию:

$$t_{\text{по}}(\text{зав.}) = t_{\text{по}}(\text{зав.}).$$

Обратный проход по сети

Определение поздних сроков работ начинается с завершающей работы и ведется строго в обратном порядке, приближаясь к начальной работе.

Позднее начало каждой работы можно определить, двигаясь по графику справа налево. В точке «схождения» нескольких работ (например, 6 работа) используется самое раннее время завершения из входящих в нее работ:

$$t_{\text{пн}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j) - T(i),$$

где $t_{\text{пн}}(i)$ – позднее начало i -ой работы;

$\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальная величина позднего начала j -ой работы;

$T(i)$ – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях.

Позднее окончание работы рассчитывается с учетом точки «схождения» нескольких работ (например, работа 6) по следующей формуле:

$$t_{\text{по}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j),$$

где $t_{\text{по}}(i)$ – позднее окончание i -ой работы;

$\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальная величина позднего начала работ, приходящихся на точку «схождения» i -ой работе.

Расчет резервов времени работы

Резерв времени полного пути. Его величина показывает, на сколько в сумме могут быть увеличены продолжительности работ, принадлежащих полному пути:

$$R(L_n) = T_{\text{кр}} - T(L_n),$$

где $T_{\text{кр}}$ – продолжительность критического пути;

$T(L_n)$ – продолжительность любого другого пути.

Полный резерв времени работы означает, что эта работа может начаться позднее, чем указано датами раннего начала. Использование этого резерва на одной из работ, аннулирует полные резервы времени всех остальных работ, лежащих на этом пути:

$$R_{\text{п}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j) - t_{\text{по}}(i),$$

где $\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальное позднее начало последующих работ, приходящихся на точку «схождения» к предшествующей работе;

$t_{\text{по}}(i)$ – раннее окончание предшествующей работы.

Продолжительность критического пути больше продолжительности любого другого пути сетевого графика. Полный резерв времени работ критического пути равен нулю.

Свободный резерв времени работы указывает максимальное время, на которое можно увеличить продолжительность отдельной работы или отсрочить ее начало. Он является независимым резервом, т.к. его использование на одной из работ не меняет величины свободных резервов времени остальных работ:

$$R_c(i) = t_{pn}(j) - t_{pn}(i),$$

где $t_{pn}(j)$ – раннее начало последующей работы;

$t_{pn}(i)$ – раннее начало предшествующей работы.

Данные, полученные при расчете параметров сети сводятся в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Параметры сетевого графика

Название работы	№ раб.	$T_{\text{кал}}$	t_{pn}	t_{po}	$t_{пн}$	$t_{по}$	$R_{п}$	R_c
Выбор направления исследований	1	5	0	5	0	5	0	0
Составление задания на ВКР	2	4	5	9	5	9	0	0
Согласование задания с исполнителем	3	6	9	15	9	15	0	0
Уточнение физических основ люминесценции хлорофилла	4	22	15	37	15	37	0	0
Уточнение информативности получаемых при спектральном анализе данных	5	6	37	43	37	43	0	0
Анализ конкурентных решений	6	9	43	52	43	52	0	0
Проведение расчетов и выбор методики измерений	7	6	52	58	52	58	0	0
Разрабатываем схему	8	21	58	79	58	79	0	0

флуорометра								
Изготовление флуорометра	9	16	79	95	79	95	0	0
Оценка эффективности полученных результатов	10	6	95	101	95	101	0	0
Представление результатов для отчета по НИР	11	5	101	106	101	106	0	0
Анализ результатов отчета, формулировка выводов	12	8	106	114	106	114	0	0
Составление рекомендаций к следующей фазе исследований	13	7	114	121	114	121	0	0
Резерв времени полного пути $R(L_{\text{п}})$								
Критический путь $T_{\text{кр}}$								

4.3.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должны быть достоверно отражены все виды расходов, связанные с его выполнением. А именно это:

материальные затраты НТИ;

затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;

основная заработная плата исполнителей темы;

дополнительная заработная плата исполнителей темы;

отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Результаты по данной статье заносятся в таблице 4.3.3.1.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх\ i}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данного исследования, занесены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 - Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Семена	шт	50	2	100
Земля	л	15	10	150
Торфяные горшки	шт	25	7	175
Всего за материалы				425
Транспортно-заготовительные расходы (5%)				21.25
Итого по статье C_m				446.25

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В этом проекте необходимо приобрести некоторое экспериментальное оборудование. Мы определяем стоимость оборудования исходя из текущей рыночной цены. Как показано в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
-------	---------------------------	----------------------------	-------------------------------------	--

1	Источник питания (GDP-743035-2 шт)	1шт	50000	50000
2	Оптоволоконный кабель (FC-UV800-2)	2шт	10100	20200
3	Caryeclipse (Fluorescence spectrophotometer)	1шт	100000	100000
Итого:				170200

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в табл.4.15.

Заработная плата исполнителей рассчитывается на основе данных об окладе, определяющем уровень месячной заработной платы в зависимости от трудоемкости работ.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

где T_p — продолжительность работ, выполняемых научно-техническим сотрудником, раб. дн;

$З_{\text{дн}}$ — среднедневная заработная плата сотрудника, руб, рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где $З_{\text{м}}$ — месячный должностной оклад работника, руб.;
 M — количество месяцев работы без отпуска в течение года;
 $F_{\text{д}}$ — действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 4.15 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
- выходные дни	12	12
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	48
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	253	253

Месячный оклад работника Z_M рассчитывается как:

$$Z_M = Z_6 \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_6 – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.16.

Таблица 4.16 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k _т	З _{тс} , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	ППС 4	1	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2124	15	31860
Инженер	ППС 1	1	9893	0,3	0,2	1,3	19291	799	112	89488
Итого З _{осн}										121348

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{внеб}$ — коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 год для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность этот коэффициент составляет 30%.

Рассчитанные значения отчислений во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	З _{внеб} , руб.
Руководитель	31860	9558,3
Инженер	89488	26846,4
Итого		36404,7

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 4.18- Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	446.25
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	170200
3. Затраты по основной заработной плате	121348
4. Отчисления во внебюджетные фонды	36404,7
5. Накладныерасходы	49262,8
6. Бюджет затрат НТИ	377661,75

4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1. Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- срок окупаемости (DPP);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- индекс доходности (PI).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

4.4.1.1 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то NPV определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0,$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной.

Таблица 4.19 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	99,184	99,184	99,184	99,184
2.	Итого приток, тыс.руб.	0	99,184	99,184	99,184	99,184
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-76,296	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	0	33,824	33,824	33,824	33,824
5.	Налогооблагаемая прибыль		65,360	65,360	65,360	65,360
6.	Налоги, тыс. руб Выр-опер=донал.приб*20%	0	13,072	13,072	13,072	13,072
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	-76,296	46,896	46,896	46,896	46,896
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-76,296	52,290	52,290	52,290	52,290
9.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=20\%$)	1,0	0,833	0,694	0,578	0,482
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-76,296	43,557	36,289	30,223	25,203
11.	То же нарастающим итогом, тыс.руб. (NPV=58,976 тыс.руб.)	-76,296	-32,739	3,550	33,773	58,976

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 58,976 тыс. рублей, что позволяет его эффективности.

Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (см. табл. 4.20).

Таблица 4.20 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-76,296	43,557	36,289	30,223	25,203
2.	То же нарастающим итогом	-76,296	-32,739	3,550	33,773	58,976
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{\text{диск}} = 1 + 32,739/36,289 = 0,92 \text{ года}$				

Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования

(i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 4.21 и графика, представленного на рисунке 2.

Таблица 4.21 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

No	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-76,296	99,184	99,184	99,184	99,184	
2	коэффициент дисконтирования						
	i=0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	i=0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	i=0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	i=0,4	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	i=0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	i=0,6	1	0,625	0,39	0,244	0,095	
	i=0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,07	
	i=0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	i=0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	i=1	1	0,5	0,25	3:00	0,006	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						
	i=0,1	-76,296	72,887	66,232	60,218	54,766	177,807
	i=0,2	-76,296	66,793	55,648	46,346	38,649	131,14
	i=0,3	-76,296	61,661	47,469	36,484	28,064	97,382
	i=0,4	-76,296	57,251	40,894	29,187	20,848	71,884
	i=0,5	-76,296	53,483	35,602	23,654	15,876	52,319
	i=0,6	-76,296	50,115	31,272	19,565	7,617	32,273
	i=0,7	-76,296	47,148	26,862	16,277	5,613	19,604
	i=0,8	-76,296	44,582	24,777	13,711	7,617	14,391
	i=0,9	-76,296	42,177	22,211	11,707	6,174	5,973
	i=1	-76,296	40,092	20,046	10,023	0,481	-5,654

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,93.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0,$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{43,557 + 36,289 + 30,233 + 25,203}{126,253} = 1,07$$

$PI=1,07>1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$;

$NPV=131,14$ тыс. руб.

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 4.22 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Флюорометр очень дорогой	Новые флюорометры дешевы, анализ быстр и точен

4.4.1.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с

определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{4344555,7}{5419612,6} = 0,8; I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{5419612,6}{5419612,6} = 1; I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{2845459,64}{5419612,6} = 0,52.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i,$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – балльная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.23).

Таблица 4.23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0,2	5	5	4

2. Универсальность	0,2	4	4	5
3. Уровень материалоемкости.	0,15	4	4	5
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,20	5	5	4
5. Ремонтопригодность	0,1	5	5	5
6. Энергосбережение	0,15	4	4	5
Итого	1	4,65	4,65	4,55

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,65$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,65$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i.} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}},$$

$$I_{исп1} = \frac{4,65}{0,8} = 5,8; I_{исп2} = \frac{4,65}{1} = 4,65; I_{исп3} = \frac{4,55}{0,52} = 8,75.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.макс}}$$

Таблица 4.24 – Сравнительная эффективность разработки

№п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3

1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4,65	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	5,8	4,65	8,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,66	0,53	1

Исходя из раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» можно сделать выводы:

Мы проводим исследования рынка для исследовательских проектов, анализируем основных клиентов на рынке и рыночный спрос на наши проекты.

Затем мы разработали план исследований для проекта, который установил график. Общая работа исследования составляет 13 частей. Для составления таблицы показателей времени обучения рассчитывается календарный коэффициент. План был разработан с использованием диаграммы Ганта, которая оптимизирует выполнение работы. Согласно графику, для завершения исследовательского проекта требуется 121 день.

Мы планируем стоимость проекта. Общий бюджет для этого исследования составляет 377661,75 рубля путем расчета стоимости материалов, оборудования и технических специалистов, необходимых для проекта. И исследование показывает, что это очень эффективно с точки зрения эффективности использования ресурсов.